不同类型维生素 D_3 对奶牛产奶性能、血液指标及钙磷代谢的影响[1]

卢　娜[1,2]　宗学醒[3*]　王雅晶[2]　邵　伟[1]　余　雄[1**]　李胜利[2**]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业大学动物科技学院，动物营养学国家重点实验室，北京市生鲜乳质量安全工程技术研究中心，北京 100193；3.内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司，呼和浩特 011500）

摘　要：本试验旨在研究不同类型维生素 D_3（维生素 D_3 和 25 羟基 D_3）对荷斯坦泌乳奶牛产奶性能、血液指标及钙磷代谢的影响。选取产奶量、胎次、乳成分和泌乳天数相近的健康荷斯坦泌乳奶牛 45 头，随机分为 3 组，每组 15 个重复，每个重复 1 头牛。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ组在基础饲粮中添加 25 000 IU/(头•d)的维生素 D_3，试验Ⅱ组在基础饲粮中添加 60 mg/(头•d)的 25 羟基 D_3。预试期 10 d，正试期 60 d。结果表明：1）试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的乳蛋白、乳钙和乳锌含量显著高于对照组（$P<0.05$），试验Ⅰ组和试验Ⅱ组乳体细胞数显著低于对照组（$P<0.05$），各组之间干物质采食量、产奶量和其他乳成分含量无显著差异（$P>0.05$）。2）试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血液骨钙素含量显著高于对照组（$P<0.05$），血液骨吸收标志物含量显著低于对照组（$P<0.05$）；各组之间血液甲状旁腺激素、钙、磷和镁含量及碱性磷酸酶活性无显著差异（$P>0.05$）。3）试验Ⅰ组和试验Ⅱ组乳钙排出量显著高于对照组（$P<0.05$），粪钙排出量显著低于对照组（$P<0.05$）；试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的钙、磷沉积量和表观消化率显著高于对照组（$P<0.05$）。综上所述，饲粮中添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 可显著提高奶牛钙、磷表观消化率和沉积量，显著提高乳蛋白、乳钙和乳锌含量，显著降低乳体细胞数，改善乳品质，从而提高奶牛生产性能。

收稿日期：2018-01-26
基金项目：现代农业（奶牛）产业技术体系建设专项资金（CARS-36）
作者简介：卢　娜（1983—），女，河北石家庄人，博士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: 36486407@qq.com
*同等贡献作者
**通信作者：余　雄，教授，博士生导师，E-mail: yuxiong8763601@126.com；李胜利，教授，博士生导师，E-mail: lisheng0677@163.com

关键词：维生素 D_3；25 羟基 D_3；泌乳奶牛；钙磷代谢

中图分类号：S823

维生素 D_3 是与机体钙磷代谢密切相关的一种维生素，它对维持机体血液钙、磷沉积及骨骼的矿化起着十分重要的作用。但维生素 D_3 的生物活性很低，必须先转化为 25 羟基 D_3，而后在肾脏中转化为最终活性形式 1,25-二羟维生素 D_3[1，25-（OH）$_2D_3$]。Horst 等[1]和 Gast 等[2]报道，在奶牛饲粮中直接添加 1，25-（OH）$_2D_3$ 能够有效提高血浆中钙含量和小肠对钙的吸收率。由于 1，25-（OH）$_2D_3$ 的半衰期很短，那么作为具有较长半衰期的维生素 D_3 和 1，25-（OH）$_2D_3$ 中间产物 25 羟基 D_3 就成为研究的热点[3]。廖波等[4]研究发现，饲粮添加 25 羟基 D_3 能够显著提高仔猪的抗病能力。研究表明，围产期娟姗牛产犊前口服 25 羟基 D_3 与口服维生素 D_3 相比，血清中 25 羟基 D_3 含量从 77.50 ng/mL 显著提高到 119.00 ng/mL，缓解了奶牛产后瘫痪[5]。目前，25 羟基 D_3 已经商业化生产，并在肉鸡[6]、种鸭[7]、猪和围产期奶牛等方面应用，与普通的维生素 D_3 相比，25 羟基 D_3 在吸收运转方面有突出的优势。但 25 羟基 D_3 在泌乳奶牛中的研究较少，同时在满足奶牛饲粮钙需要量和钙磷合适比例的前提下，饲粮添加 25 羟基 D_3 是否可以提高原奶中钙和磷的含量，国内还少有相关的研究报道。因此，本试验通过研究饲粮中添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 对奶牛产奶性能、血液指标及钙磷代谢的影响，旨在为从养殖源头上提供高钙奶源、生产钙含量较高的奶制品提供试验数据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用的维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 均由帝斯曼（中国）有限公司（DSM）提供，含量分别为 50 万 IU/g 和 1.25%。

1.2　试验设计

试验选用产奶量、胎次、乳成分和泌乳天数相近的健康的荷斯坦奶牛 45 头，泌乳天数为 150~220 d，随机分为 3 组，每组 15 个重复，每个重复 1 头牛。基础饲粮参照 NRC（2001）

配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。对照组饲喂不添加任何类型维生素 D_3 的基础饲粮，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组分别饲喂在基础饲粮中添加 25 000 IU/(头•d)维生素 D_3 和 60 mg/(头•d)25 羟基 D_3。维生素 D_3 的添加量参照 NRC（2001）与李新[8]、高道平等[9]的研究结果，25 羟基 D_3 添加量参照帝斯曼公司的推荐用量。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	21.25
大麦 Barley	1.54
豆粕 Soybean meal	6.94
菜籽粕 Rapeseed meal	4.83
玉米皮 Corn bran	3.09
食盐 NaCl	0.67
小苏打 $NaHCO_3$	0.87
苜蓿 Alfalfa hay	15.44
全株玉米青贮 Whole corn silage	14.56
燕麦草 Oat grass hay	4.32
甜菜粕 Beet pulp pellet	9.26
脂肪粉 Fat powder	3.30
脱霉剂 Mycotoxin remover agent	0.06
氧化镁 MgO	0.15
麦渣 Wheat residue	12.35
矿物质与维生素预混料 Mineral and vitamin premix1)	0.09
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.68
石粉 Limestone	0.60
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
产奶净能 NE_L/(MJ/kg) 2)	7.18

中性洗涤纤维 NDF	35.15
酸性洗涤纤维 ADF	21.33
粗蛋白质 CP	18.41
粗脂肪 EE	5.46
粗灰分 Ash	9.26
钙 Ca	1.23
磷 P	0.45

1)每千克矿物质与维生素预混料含有 Per kilogram of mineral and vitamin premix contained the following：VA 1 000 000 IU，VE 1 500 mg，Fe 4 000 mg，Cu 4 000 mg，Mn 3 000 mg，Zn 12 000 mg，Se 120 mg，I 200 mg，Co 40 mg。

2)产奶净能为计算值，其他营养水平为实测值。NE_L was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

试验在上海振华牛场进行。奶牛饲喂全混合日粮（total mixed ration, TMR），拴系式饲喂管理。每日分别于 03:30、11:00、19:30 饲喂和挤奶。试验期间奶牛自由饮水。试验期 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d。

1.4 样品采集及处理

1.4.1 饲粮和剩料

试验期间每 15 d 采集 1 次投喂饲粮和剩料，用于计算干物质采食量（DMI）。采集的饲粮样品置于 65 ℃烘箱烘干 48 h，回潮 48 h 后制成风干样，粉碎后保存待测。

1.4.2 粪样和尿样

试验采用全收粪尿方法[10]。在舍饲栏内最后 1 次采集奶样和血样后连续 3 d 全收粪尿，混合 1 d 所收集的粪样，准确称取总粪重的 4%，加入 1/4 粪重的 10%酒石酸混合均匀，制备风干粪样以备分析。用尿袋 24 h 全收尿，在集尿桶中预加 200 mL 10%的稀硫酸，每天采集总尿量的 10%，-20 ℃保存待测。

1.4.3 奶样

正试期间每隔 15 d 记录 1 次产奶量。自正试期间第 1 天起每间隔 15 d 采集 1 次奶样，按照早、中、晚 4:3:3 将奶样混合，共采集 100 mL。其中 50 mL 奶样置于 4 ℃冰箱冷藏，冷藏样品运送至蒙牛马鞍山事业部实验室检测常规指标；另外 50 mL 奶样-20 ℃保存，用于检测乳中钙、磷、镁和锌含量。

1.4.4 血样

正试期间自第 1 天起每间隔 15 d 采集 1 次血样。每组随机挑选 5 头牛，于晨饲前用普通真空采血管和肝素锂抗凝分别进行尾根静脉采血 5 mL，分别将采集的血样置于 4 000 r/min 离心机，10 min 后，将所得血清分装在 1.5 mL 离心管中-20 ℃保存待测，血浆分装在 1.5 mL 离心管-80 ℃保存待测。

1.5 检测指标及方法

1.5.1 饲粮、剩料和粪样的营养成分

饲粮、剩料和粪样中的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、粗灰分（Ash）、钙、磷含量的测定参照张丽英[11]描述的方法。

1.5.2 奶样检测

奶样用于检测乳蛋白率、乳脂率、乳糖率和乳体细胞数（SCC），采用乳成分分析仪（Foss FT120）和体细胞测定仪（Foss 5000）测定；乳中钙、镁和锌含量采用日立（ZA3000）原子吸收分光光度计测定，乳中磷含量的测定方法参照张丽英[11]描述的方法。

1.5.3 血液指标

血清用于检测碱性磷酸酶（ALP）活性及钙、磷、镁、甲状旁腺激素（PTH）含量；血浆用于检测 25 羟基 D_3、骨吸收标志物（CTX）和骨钙素（OC）含量。血液样品均送至北京莱博泰瑞科技发展公司测定。

1.6 统计分析

数据用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA）。Duncan 氏多重比较法进行差异显著性检验，P<0.05 为差异显著，0.05≤P<0.10 为有显著趋势，结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛 DMI、产奶量和乳成分的影响

由表 2 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的乳蛋白、乳钙和乳锌含量显著高于对照组（P<0.05），而试验Ⅰ组和试验Ⅱ组之间无差异（P＞0.05）。试验Ⅰ组和试验Ⅱ组 SCC 显著低于对照组（P<0.05），且试验Ⅱ组显著低于试验Ⅰ组（P<0.05）。各组之间 DMI、产奶量和其他乳成分含量无显著差异（P＞0.05）。

表 2 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛 DMI、产奶量和乳成分的影响

Table 2 Effects of different types of vitamin D_3 on DMI, milk yield and milk composition of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	P 值 P-value
干物质采食量 DIM/(kg/d)	21.78±1.33	22.15±1.27	22.27±1.36	0.65
产奶量 Milk yield/(kg/d)	32.73±1.03	33.60±0.87	33.27±0.99	0.73
乳蛋白 Milk protein/%	3.00±0.18^{b}	3.04±0.20^{a}	3.08±0.21^{a}	0.03
乳脂率 Milk fat rate/%	3.24±0.57	3.30±0.66	3.28±0.63	0.47
乳糖率 Milk lactose rate/%	4.82±0.26	4.95±0.19	4.71±0.22	0.15
乳钙 Milk Ca/（mg/g）	1.03±0.14^{b}	1.09±0.12^{a}	1.10±0.13^{a}	0.02
乳磷 Milk P/（mg/g）	0.86±0.10	0.88±0.10	0.91±0.10	0.32
乳镁 Milk Mg/（mg/g）	0.10±0.02	0.10±0.02	0.10±0.02	0.18
乳锌 Milk Zn/（μg/g）	3.92±1.16^{b}	4.87±1.51^{a}	4.83±1.69^{a}	0.04
乳体细胞数 SCC/(×10^{4}/mL)	17.80±2.64^{a}	15.20±3.21^{b}	12.20±2.87^{c}	0.02

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛血液指标的影响

由表 3 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血液 OC 含量显著高于对照组（$P<0.05$），血液 CTX 含量显著低于对照组（$P<0.05$），而试验Ⅰ组和试验Ⅱ组之间无显著差异（$P>0.05$）。试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血液 25 羟基 D_3 含量较对照组有提高的趋势（$P=0.09$）。各组间血液 PTH、钙、磷和镁含量及 ALP 活性无显著差异（$P>0.05$）。

表 3　不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛血液指标的影响

Table 3　Effects of different types of vitamin D_3 on blood indices of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	P 值 P-value
钙 Ca/(mmol/L)	2.59±0.50	2.68±0.45	2.70±0.55	0.32
磷 P/(mmol/L)	1.61±0.26	1.63±0.28	1.69±0.32	0.78
镁 Mg/(mmol/L)	1.11±0.11	1.08±0.14	1.09±0.03	0.55
25 羟基 D_3 25-(OH) D_3/（ng/mL）	28.90±7.78	29.84±8.91	30.14±8.73	0.09
甲状旁腺激素 PTH/（ng/dL）	33.22±12.32	33.37±13.27	33.45±12.08	0.58
碱性磷酸酶 ALP/（U/L）	34.40±9.45	35.59±8.54	33.20±6.11	0.27
骨钙素 OC/（ng/mL）	$40.00±3.82^{b}$	$43.30±5.17^{a}$	$43.60±6.45^{a}$	0.04
骨吸收标志物	$1.72±0.51^{a}$	$1.58±0.39^{b}$	$1.60±0.75^{b}$	0.04

CTX/(ng/mL)

2.3 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛钙磷代谢的影响

表 4 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组乳钙排出量显著高于对照组（P<0.05），粪钙排出量显著低于对照组（P<0.05），而试验Ⅰ组和试验Ⅱ组之间无显著差异（P>0.05）。试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的钙、磷沉积量也显著高于对照组（P<0.05），且试验Ⅱ组的钙沉积量显著高于试验Ⅰ组（P<0.05）；试验Ⅰ组和试验Ⅱ组钙、磷表观消化率显著高于对照组（P<0.05）。

表 4 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛钙磷代谢的影响

Table 4 Effects of different types of vitamin D_3 on Ca and P metabolism of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	P 值 P-value
钙 Ca				
摄入饲粮钙 Intake Ca in diet/(g/d)	267.89±12.77	272.45±13.24	273.92±13.78	0.79
摄入饮水钙 Intake Ca in water/(g/d)	8.35±0.78	8.75±1.22	8.50±1.07	0.66
乳钙排出量 Milk Ca output/(g/d)	33.74±1.27[b]	36.46±1.06[a]	36.50±1.14[a]	0.02
尿钙排出量 Urine Ca output/(g/d)	3.69±0.24	2.77±0.23	2.45±0.29	0.07
粪钙排出量 Feces Ca output/(g/d)	208.30±12.12[a]	198.10±10.99[b]	197.60±11.37[b]	0.04
钙沉积量 Ca deposition/(g/d)	30.51±3.22[c]	43.87±2.78[b]	45.87±3.79[a]	0.03
钙表观消化率 Ca apparent digestibility/%	24.59±0.56[b]	29.55±0.74[a]	30. 03±0.84[a]	0.02
磷 P				
摄入磷 P intake/(g/d)	98.01±6.45	99.68±5.89	100.22±7.22	0.83

乳磷排出量 Milk P output/(g/d)	28.15±1.37	29.57±0.98	30.28±0.94	0.36
尿磷排出量 Urine P output/(g/d)	2.77±0.14	2.32±0.09	2.27±0.23	0.12
粪磷排出量 Feces P output/(g/d)	63.91±6.55	63.11±7.21	62.69±7.34	0.66
磷沉积量 P deposition/(g/d)	3.18±0.35^{b}	4.68±0.33^{a}	4.98±0.45^{a}	0.02
磷表观消化率 P apparent digestibility/%	34.79±1.55^{b}	36.68±1.68^{a}	37.44±1.32^{a}	0.03

3 讨 论

3.1 不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛 DMI、产奶量和乳成分的影响

Martinez 等[12]在不同饲粮阴阳离子差（DCAD）的饲粮中补充维生素 D_3 和钙后发现，正和负 DCAD 的饲粮添加维生素 D_3 和钙对产后奶牛的 DMI 和产奶量均没有显著影响。本试验的饲粮是按照 NRC（2001）对钠、钾和氯的推荐值为 0.19%、1.02%和 0.25%进行配制的，折合算成 DCAD 为 270 mEq/kg。本试验结果与上述试验结果一致，在正 DCAD 的饲粮中是否添加外源维生素 D_3 对奶牛的 DMI 和产奶量并无显著影响。

本试验中，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组乳钙、乳锌和乳蛋白含量均显著高于对照组，各组之间乳脂、乳糖、乳磷和乳镁的含量无显著差异。产生此结果的主要原因为乳钙、乳蛋白、乳锌的分泌是一致的。饲粮添加维生素 D_3 可促进钙在肠黏膜细胞中形成钙结合蛋白，从而促进钙的主动吸收和提高机体中钙的沉积[2,13]，同时提高了乳钙含量。另外，2/3 的乳钙是和蛋白质相结合，且乳钙含量和乳蛋白含量呈显著正相关，相关系数为 0.725[14]。Rodríguez 等[15]研究报道，牛奶中乳钙含量和乳锌含量呈显著正相关。

SCC 是每毫升牛奶中的体细胞数，主要包括白细胞（嗜中性白细胞、淋巴细胞）和巨噬细胞等[16]。Mathieu 等[17]指出，维生素 D_3 主要是其活性形式 1，25-（OH）$_2D_3$ 在调节动物机体的免疫反应中起着重要作用。维生素 D 主要调解 T 淋巴细胞、B 淋巴细胞和巨噬细

胞的分化、成熟，分泌细胞因子和免疫球蛋白[18-20]。廖波等[4]报道指出，在断奶仔猪饲粮中添加 25 羟基 D_3，可以抑制炎症反应，减少白细胞数。在本试验中，2 种外源维生素 D_3 的添加都显著降低了 SCC，其中饲粮添加 25 羟基 D_3 效果更显著。这可能是因为维生素 D_3 有参与机体免疫反应的功能，提高了乳腺的防御机能，降低了淋巴细胞等白细胞数，从而降低了 SCC。

3.2　不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛血液指标的影响

血液中钙、磷和镁含量的高低均可反映出奶牛机体内相应离子代谢平衡的状态。血液中钙含量过低引起的低血钙症可导致奶牛患乳房炎和产乳热等疾病[21-22]。杨玉菊[23]研究指出，奶牛通过注射维生素 D 和口服维生素 D 胶囊，均可提高血液中钙含量，但差异不显著。本试验结果与上述结果一致，通过外源添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 均可略提高血清中钙含量，但差异不显著。Goff[24]研究表明，血液中镁含量低下也是引起产乳热病的一个重要因素，且一定程度的低血镁症还可影响奶牛维持钙稳态，造成低血钙症。李大刚[25]研究发现，将阴离子盐和维生素 D_3 添加在围产期奶牛饲粮当中后，奶牛在分娩时血液中镁含量显著上升。在本试验中，各组间血清镁含量并无显著差异，造成与他人结果不同的原因可能是试验动物的生理阶段不同。杨玉菊[23]还指出，同时使用维生素 D_3 和高磷饲粮，血液中磷含量在试验进行到第 60 天时显著高于对照组。而本试验组的饲粮中的磷含量不变，仅外源添加维生素 D_3，所以试验组血清磷含量较对照组有提高，但未形成显著差异。以上结果说明，饲粮中添加维生素 D_3 的可有效维持奶牛机体离子稳态。

奶牛体内钙稳态是由多种机制共同调节完成，各个机制又由各种激素和酶共同作用。血液中 PTH 和 25 羟基 D_3 有共同调节血钙稳定的作用[26]。PTH 是调节骨转换及骨骼钙磷代谢的最为重要的肽类激素之一。郑家三等[26]试验中发现，在围产期奶牛饲粮中添加过瘤胃维生素 D_3 后，血液中 PTH 和 25 羟基 D_3 含量呈产前逐渐升高、至分娩时最高、产后逐渐降低的变化规律。Goff 等[27]和 Weiss 等[28]的试验表明，在围产期奶牛饲粮中添加 25 羟基 D_3 可

以影响血液 PTH 含量。Mc Dermott 等[29]报道，在围产期奶牛饲粮中维生素 D_3 添加量达到 250 000 IU/d 时，可显著增加血液中 25 羟基 D_3 的含量。Horst 等[1]报道，奶牛产犊后 2 d 内，口服 25 羟基 D_3 可以线性增加血液中 25 羟基 D_3 的含量。Weiss 等[28]研究表明，在围产期奶牛产犊前 15 d 开始饲喂维生素 D_3 和 25 羟基 D_3，至产犊后 7 d，25 羟基 D_3 组比维生素 D_3 组中血浆中 25 羟基 D_3 的含量提高 3 倍以上。本试验在基础饲粮上添加了不同类型的维生素 D_3，血液中 PTH 含量均略有上升，但差异不显著；血液中 25 羟基 D_3 的含量均提高，但差异不显著。与其他研究者研究结论的不一致的原因主要是因为其他研究对象多为围产期奶牛，而奶牛在围产期间因大量的钙流失以导致骨钙动员和肠钙吸收，体内的钙和激素分泌处于紊乱状态，机体自身调节作用会刺激血液中大量 PTH 和 25 羟基 D_3 生成，满足奶牛泌乳的钙需求。

血液中 ALP 在机体钙的消化、吸收、分泌和骨化过程中有着重要的作用[30]。CTX 存在于成熟的骨胶原，当破骨细胞活性增强时骨胶原溶解释放 I 型胶原蛋白，骨吸收增强时 CTX 含量升高。OC 是骨转换标志物，是骨基质中最重要的一种特异性非胶原蛋白。血液中 OC 含量可反映出奶牛机体中骨钙的流转速度。李大刚[25]报道，饲粮中添加维生素 D_3 没有对血液中 ALP 活性造成显著影响。赵真等[31]报道，通过对 246 例老年人的血液指标监测，随着血液中 25 羟基 D_3 含量降低，血液中 OC 含量呈下降趋势，其中维生素 D 严重缺乏组血液中 OC 含量明显低于维生素 D_3 组。本试验中，饲粮添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 对血液 ALP 活性无显著影响，但显著提高了血液 OC 含量，降低了血液 CTX 含量，这说明说明外源维生素 D_3 的添加有利于提高机体骨转化效率，加强骨形成和缓解骨代谢障碍。

3.3　不同类型维生素 D_3 对泌乳奶牛钙磷代谢的影响

钙和磷在骨骼生长和代谢过程中发挥中重要作用，是动物骨骼生长发育和维持骨骼健康不可缺少的重要矿物元素[32]。而维生素 D_3 在奶牛钙磷代谢的过程中起着重要的作用，能够促进钙盐在骨中的沉积和钙化[23,33]。研究表明，25 羟基 D_3 较维生素 D_3 吸收更有效，生物学

活性更强[34]。目前的研究表明，饲粮中直接补充 25 羟基 D_3，不仅缩短了维生素 D_3 在机体内的代谢过程，而且避免了因肠道损伤及肝脏、肾脏功能障碍时在吸收利用方面的影响[35]。叶慧等[6]报道指出，在黄羽肉鸡饲粮中添加 25 羟基 D_3 能够有效地替代维生素 D_3，当 25 羟基 D_3 添加量达到 70、90 μg/kg 时可以显著提高钙的表观消化率和真消化率。由于肉鸡的快速成长，对于钙和磷在骨骼中的沉积要求较高，而关于维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 在泌乳期奶牛的骨钙沉积的相关报道较少。本试验在奶牛基础饲粮中添加不同类型的维生素 D_3，试验组钙、磷表观消化率和钙、磷沉积显著高于对照组，说明维生素 D_3 的添加可有效提高钙、磷的利用率，增加钙、磷在骨骼中的沉积，满足泌乳期间对于钙的需求。

4 结 论

① 饲粮中添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 可显著提高乳钙、乳锌和乳蛋白的含量，显著降低 SCC，对 DMI 和产奶量无显著影响。

② 饲粮中添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 可显著提高血液 OC 含量，显著降低血液 CTX 含量；血液钙、磷和羟基 D_3 的含量均有提高，但差异不显著。

③ 饲粮中添加维生素 D_3 和 25 羟基 D_3 可显著提高钙、磷沉积量和表观消化率，其中添加 25 羟基 D_3 效果更佳。

参考文献：

[1] HORST R L,GOFF J P,REINHARDT T A.Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow[J].Journal of Dairy Science,1994,77(7):1936–1951.

[2] GAST D R,HORST R L,JORGENSEN N A,et al.Potential use of 1,25-dihydroxycholecalciferol for prevention of parturient paresis[J].Journal of Dairy Science,1979,62(6):1009–1013.

[3] JONES G.Pharmacokinetics of vitamin D toxicity[J].The American Journal of Clinical Nutrition,2008,88(2):582S–586S.

[4] 廖波,张克英,丁雪梅,等.饲粮添加 25-羟基维生素 D_3 对轮状病毒攻毒和未攻毒断奶仔猪血清和肠内容物抗体和细胞因子水平的影响[J].动物营养学报,2011,23(1):34–42.

[5] TAYLOR M S,KNOWLTON K F,MCGILLIARD M L,et al.Blood mineral,hormone,and osteocalcin responses of multiparous Jersey cows to an oral dose of 25-hydroxyvitamin D_3 or vitamin D_3 before parturition[J].Journal of Dairy Science,2008,91(6):2408–2416.

[6] 叶慧,郑玲玲,雷建平,等.25 羟基维生素 D_3 和 1α羟基维生素 D_3 代替维生素 D_3 对 42～63 日龄黄羽肉鸡生长性能、血清生化指标和胫骨发育的影响[J].动物营养学报,2013,25(8):1752–1761.

[7] 25-羟基 VD_3 对樱桃谷种鸭生产性能的影响[J].水禽世界,2009(3):47–48.

[8] 李新.奶牛的维生素营养[J].草食家畜,2002(3):38–40.

[9] 高道平,朱江,欧阳建华,等.矿物元素和维生素对奶牛生产性能的影响[J].上海畜牧兽医通讯,2004(3):45–46.

[10] CAO Z J,MA M,YAN X Y,et al.A simple urine-collecting apparatus and method for cows and heifers[J].Journal of Dairy Science,2009,92(10):5224–5228.

[11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4 版.北京:中国农业大学出版社,2016:370.

[12] MARTINEZ N,RODNEY R M,BLOCK E,et al.Effects of prepartum dietary cation-anion difference and source of vitamin D in dairy cows:lactation performance and energy metabolism[J].Journal of Dairy Science,2017,101(3):2544–2562.

[13] WILKENS M R,OBERHEIDE I,SCHRÖDER B,et al.Influence of the combination of 25-hydroxyvitamin D_3 and a diet negative in cation-anion difference on peripartal calcium homeostasis of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2012,95(1):151–164.

[14] GAUCHERON F.The minerals of milk[J].Reproduction Nutrition Development,2005,45(4):473–483.

[15] RODRÍGUEZ E M R,ALAEJOS M S,ROMERO C D.Mineral concentrations in cow's milk from the Canary Island[J].Journal of Food Composition and Analysis,2001,14(4):419–430.

[16] 孙乃峰.浅谈 DHI 测试报告中的体细胞数(SCC)[J].中国奶牛,2008(4):63–64.

[17] MATHIEU C,VAN ETTEN E,DECALLONNE B,et al.Vitamin D and 1,25-dihydroxyvitamin D_3 as modulators in the immune system[J].The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology,2004,89–90:449–452.

[18] BINDERUP L.Immunological properties of vitamin D analogues and metabolites[J].Biochemical Pharmacology,1992,43(9):1885–1892.

[19] BOUILLON R,GARMYN M,VERSTUYF A,et al.Paracrine role for calcitriol in the immune system and skin creates new therapeutic possibilities for vitamin D analogs[J]. European Journal of Endocrinology,1995,133(1):7–16.

[20] HEWISON M.Vitamin D and the immune system[J].Journal of Endocrinology,1992,132(2):173–175.

[21] KIMURA K,REINHARDT T A,GOFF J P.Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2006,89(7):2588–2595.

[22] 张子扬.低血钙症对奶牛生产性能、饲料能源损耗、粪污排放影响的研究[D].硕士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2016.

[23] 杨玉菊.维生素 D 对奶牛骨代谢调节及细胞因子的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2001.

[24] GOFF J P.The monitoring,prevention,and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows[J].The Veterinary Journal,2008,176(1):50–57.

[25] 李大刚.阴离子盐和维生素 D 对围产期奶牛钙调控机制和健康作用的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2006.

[26] 郑家三,夏成,王琳琳,等.过瘤胃维生素 D 对围产期奶牛低血钙症的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(8):57–60.

[27] GOFF J P,LIESEGANG A,HORST R L.Diet-induced pseudohypoparathyroidism:a hypocalcemia and milk fever risk factor[J].Journal of Dairy Science,2014,97(3):1520–1528.

[28] WEISS W P,AZEM E,STEINBERG W,et al.Effect of feeding 25-hydroxyvitamin D_3 with a negative cation-anion difference diet on calcium and vitamin D status of periparturient cows and their calves[J].Journal of Dairy Science,2015,98(8):5588–5600.

[29] MC DERMOTT C M,BEITZ D C,LITTLEDIKE E T,et al.Effects of dietary vitamin D_3 on concentrations of vitamin D and its metabolites in blood plasma and milk of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1985,68(8):1959–1967.

[30] 甄玉国,赵巍,王兰惠,等.围产前期不同钙水平日粮对奶牛血钙水平及钙代谢的影响[J].饲料工业,2016,37(10):37–42.

[31] 赵真,王欢,卢玉,等.老年 2 型糖尿病肾病患者维生素 D 及骨转换标志物水平的变化特征[J].临床和实验医学杂志,2015,14(23):1954–1958.

[32] 王剑,王栋,何建平,等.口服补钙对甘肃鼢鼠钙磷代谢的影响[J].动物学杂志,2010,45(4):46–51.

[33] 唐文山.骨营养不良乳牛血清钙及血清游离羟脯氨酸含量测定[J].中国兽医科技,2002,32(11):26–28.

[34] 韩进诚,姚军虎,郑永祥.25-羟基维生素 D_3 在动物营养中的应用[J].饲料工业,2013(10):56–59.

[35] 张艳梅.羟基-D_3 的生理功能和机理研究[J].山西农业科学,2006,34(2):76–78.

Effects of Different Types of Vitamin D_3 on Milk Production, Blood Indices and Calcium and Phosphorus Metabolism of Dairy Cows[2]

LU Na[1,2] ZONG Xuexing[3*] WANG Yajing[2] SHAO Wei[1] YU Xiong[1**] LI Shengli[2**]

(1. *College of Animal Science and Technology, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*; 2. *Beijing Engineering Technology Research Center of Raw Milk Quality and Safety Control, State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*; 3. Inner Mongolia Mengniu Dairy (Group) Co., Ltd., *Hohhot* 011500, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different types of vitamin D_3 [vitamin D_3 and 25-(OH) D_3] on milk production, blood indices and calcium and phosphorus metabolism of lactating Holstein dairy cows. Forty-five healthy lactating Holstein dairy cows with similar milk yield, parity, milk composition and lactation days were randomly assigned into 3 groups with 15 replicates per group and 1 cow per replicate. Cows in the control group were fed a basal diet, cows in the trial group Ⅰ were fed the basal diet supplemented with 25 000 IU/(head•d) vitamin D_3, and cows in the trial group Ⅱ were fed the basal diet supplemented with 60 mg/(head•d) 25-(OH) D_3. The pre-experimental period lasted for 10 days, and the experimental period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) the contents of milk protein, milk calcium and milk zinc of trial groups Ⅰ and Ⅱ were significantly higher than those of control group (P<0.05), the milk somatic cell count (SCC) of trial groups Ⅰ and Ⅱ was significantly lower than that of control group (P<0.05), there were no significant differences on dry matter intake (DMI), milk yield and other milk composition contents among 3 groups (P>0.05). 2) The

*Contributed equally
**Corresponding authors: YU Xiong, professor, E-mail: yuxiong8763601@126.com；LI Shengli, professor, E-mail: lisheng0677@163.com
(责任编辑　武海龙)

blood osteocalcin content of trial groups Ⅰ and Ⅱ was significantly higher than that of control group ($P<0.05$), while the blood bio-marker of bone resorption content of trial groups Ⅰ and Ⅱ was significantly lower than that of control group ($P<0.05$); there were no significant differences on the contents of parathyroid hormone, calcium, phosphorus and magnesium and activity of alkaline phosphatase in blood among 3 groups ($P>0.05$). 3) The milk calcium output of trial groups Ⅰ and Ⅱ was significantly higher than that of control group ($P<0.05$), while the feces calcium output was significantly lower than that of control group ($P<0.05$), the deposition and apparent digestibility of calcium and phosphorus of trial groups Ⅰ and Ⅱ were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). In conclusion, dietary vitamin D_3 and 25-(OH) D_3 can significantly improve the deposition and apparent digestibility of calcium and phosphorus, and significantly improve the contents of milk protein, milk calcium and milk zinc, meanwhile significantly reduce SCC, improve the milk quality, thus improve the production performance of dairy cows.

Key words: vitamin D_3; 25-(OH) D_3; lactating dairy cows; calcium and phosphorus metabolism